

## СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА *ZOSTERA MARINA* LINNAEUS В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЯПОНСКОГО МОРЯ

Галышева Ю.А.<sup>1</sup>, Коженкова С.И.<sup>2</sup>, Метревели В.Е.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

<sup>2</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток

<sup>3</sup>Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО), Владивосток

**Аннотация.** Изучена сезонная динамика состава и структуры сообщества морской травы *Zostera marina* Linnaeus в прибрежных водах Приморского края. На основе многолетнего мониторинга (2001–2024 гг.) проанализировано видовое богатство, биомасса, плотность поселения макробентоса и углеродная ёмкость биоценоза. В составе сообщества выявлено 175 видов растений и животных; количественные характеристики претерпевают значительные сезонные колебания. Пик развития морской травы приходится на июль-август, когда длина листьев превышает 120 см, общая биомасса может составлять 5–10 кг/м<sup>2</sup>. Выявлена тесная связь между структурой сообщества и абиотическими факторами, такими как тип грунта и содержанием органического углерода в донных отложениях. Оценена роль зарослей зостеры как депонента органического углерода.

**Ключевые слова:** *Zostera marina*, макробентос, сезонные изменения, биомасса, видовое богатство, углеродная ёмкость, Японское море.

## SEASONAL CHANGES IN THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE *ZOSTERA MARINA* LINNAEUS COMMUNITY IN THE NORTHWESTERN PART OF THE SEA OF JAPAN

Galysheva Yu.A.<sup>1</sup>, Kozhenkova S.I.<sup>2</sup>, Metreveli V.E.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok

<sup>2</sup> Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok

<sup>3</sup> Pacific Branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok

**Abstract.** Seasonal dynamics of the composition and structure of *Zostera marina* Linnaeus community was studied in the coastal waters of Primorsky Krai. Based on the long-term monitoring (2001–2024), the species richness, biomass, settlement density of the macrobenthos, and the carbon capacity of the biocenosis were analyzed. It was found that the community includes 175 species of plants and animals, with its quantitative characteristics undergoing significant seasonal fluctuations. Seagrass biomass peaks in July and August, when the length of the leaves exceeds 120 cm, and total community biomass may be 5–10 kg/m<sup>2</sup>. The relationship between community structure and abiotic factors, such as substrate type and organic carbon concentration in bottom sediments, is discussed. The importance of seagrass beds as a depositor of organic carbon has been assessed.

**Key words:** *Zostera marina*, macrobenthos, seasonal changes, biomass, species richness, carbon capacity, Sea of Japan.

**Введение.** Морские травы являются важнейшим компонентом прибрежных экосистем, выполняя ключевую роль в поддержании морского биоразнообразия и устойчивости береговых зон [15]. Эти растения признаны основными продуцентами, способными депонировать значительное количество углерода, формируя так называемые «blue-carbon ecosystems» [12]. У побережья Приморского края сообщества с доминированием зостеры занимают значительные площади дна. При этом в зал. Петра Великого Японского моря по распространению и биомассе преобладает *Zostera marina* Linnaeus, а к северу от него – *Zostera*

*asiatica* Miki [4]. Сложная корневая система позволяет zostере закрепляться на дне и формировать поля ее распространения. Заросли морской травы служат убежищем для молоди рыб и местообитанием для множества беспозвоночных, однако они подвержены антропогенной деградации вследствие эвтрофирования и увеличения мутности воды [10]. Исследования строения и функций морской травы *Z. marina*, ее адаптации к среде обитания в дальневосточных морях, особенностей физиологии и биохимических свойств проводились во второй половине XX в. [5; 7]. Однако сезонные особенности состава и структуры сообществ изучены недостаточно. Актуальным является также оценка роли зарослей zostеры как депонента органического углерода в северо-западной части Японского моря.

**Материалы и методы.** Российское побережье Японского моря характеризуется муссонной циркуляцией атмосферы и влиянием холодного Приморского течения. Летний период здесь отличается обилием осадков (до 85% годовой суммы) и активным прогревом воды, что определяет циклы развития морской биоты [7]. Исследование состава и структуры сообщества *Z. marina* проводили в период с 2001 по 2024 гг. вдоль южного и восточного побережья Приморского края: в заливе Петра Великого (бухты Троицы, Астафьева, Средняя, зал. Восток, зал. Находка), в бухте Киевка и в зал. Владимира. Сбор проб в горизонте верхней сублиторали (до 1 м) выполняли методом перекопа на площади 0,16 м<sup>2</sup>, а на глубине более 1 м при помощи легководолаза с учетной площади в 1 м<sup>2</sup>. На каждой станции соблюдали трехкратность повтора отбора. Отмечали проективное покрытие дна растительностью (%), количественные пробы помещали в полиэтиленовые пакеты и доставляли в лабораторию, где в день отбора выполняли стандартную гидробиологическую обработку: листья и корневища морской травы разделяли, промывали, освобождая от организмов, смыв пропускали через систему гидробиологических сит с наименьшей ячейей 0,5 мм. Разобрав по видам и подсушив организмы на фильтровальной бумаге, определяли прижизненный сырой вес животных и растений [2]. Всего обработано 459 количественных проб. Под «углеродной ёмкостью» понимали расчетное содержание углерода в сырой массе живого вещества всех организмов донного сообщества.

**Результаты и обсуждение.** Для сообщества *Z. marina* характерно высокое видовое богатство: выявлено 175 видов, среди которых 35% приходится на многощетинковых червей. Максимальное за сезон число видов (108) отмечено летом в б. Киевка. Сезонная динамика биоценоза неразрывно связана с жизненным циклом самого сообществообразователя. В весенний период, при температуре воды 5–10 °С, начинается активная вегетация за счёт дочерних побегов; в мае длина листьев составляет 26–36 см. В этот период существенную роль в структуре сообщества играют сезонные эпифиты, такие как бурая водоросль *Punctaria plantaginea* и зелёные водоросли, на долю которых весной может приходиться до 46% общей биомассы фитоценоза. К августу ситуация радикально меняется: длина листьев zostеры увеличивается в 4 раза (до 110–126 см), проективное покрытие дна морской травой достигает 90%. Максимальная общая биомасса сообщества отмечена именно в летний период. В бухте Киевка средние показатели составляли около 4040 г/м<sup>2</sup>, в отдельных пробах из восточной части зал. Находка значения превышали 7000 г/м<sup>2</sup>. Столь высокие показатели биомассы обусловлены не только интенсивным ростом zostеры в летний период, но и массовым оседанием личинок беспозвоночных. Плотность поселения животных в июле может превышать 1000 экз./м<sup>2</sup>, при этом доминирующее положение занимают многощетинковые черви и молодь моллюсков. Осенью (октябрь) начинается естественное отмирание листьев, высота морских трав не превышает 70 см, а общая биомасса сообщества уменьшается в 2–3 раза.

Субдоминантами сообщества *Z. marina* по биомассе в разных районах являются: двустворчатые моллюски *Ruditapes philippinarum*, *Mizuchopecten yessoensis*, *Spisula sachalinensis*, а также бурые водоросли *Sargassum myiabei*, *S. pallidum* и морская звезда *Patiria pectinifera*. В районах, подверженных опреснению (приэстуарные зоны, озера лиманного

типа), в качестве субдоминанта отмечен брюхоногий моллюск *Batillaria cumingii*. В качестве сезонного аспекта в формировании биомассы в составе субдоминантов отмечены зеленые водоросли *Acrosiphonia heteroclada*, *Cladophora speciosa*, *Ulva clathrata*, *U. linza*, *U. fenestrata* и *Kornmannia leptoderma*, а также бурая водоросль *Punctaria plantaginea*. Практически во всех обследованных районах сезонный аспект проявляется в форме эпифитизма, что свидетельствует о существенном обогащении среды в зоне зарослей зостеры органическим веществом, которое в совокупности с достаточным уровнем физиологически активной радиации и благоприятной температурой приводит к увеличению биомассы водорослей-эпифитов в теплый период года.

Зооценоз сообщества имеет более стабильный таксономический состав, чем фитоценоз. Кроме указанных субдоминирующих видов *Bivalvia*, часто встречаются и другие двустворчатые моллюски - *Macoma incongrua*, *Leucoma euglypta* и *Mya arenaria*, многощетинковые черви - *Lumbrineris inflata*, *Scoletoma fragilis*, *Nereis tigrina*, *N. vexillosa*, голотурия *Eupentacta fraudatrix*, сипункулида *Phascolosoma* sp., брюхоногие моллюски *Littorina squalida* и *Nucella heyseana*, хитоны *Ischnochiton hakodadensis* и *Mopalia retifera*, составляющие основу (ядро) сообщества (рис.).

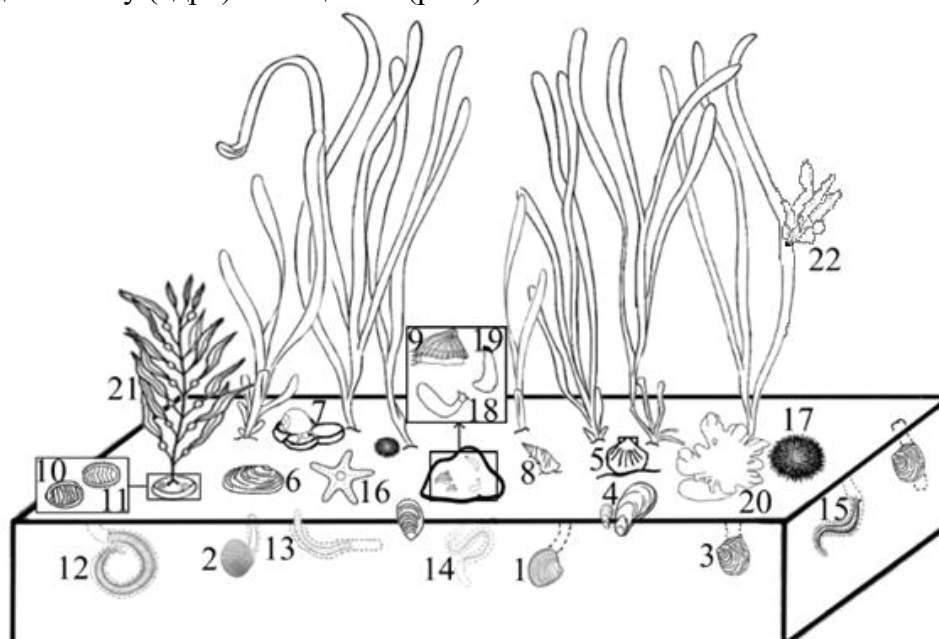


Рис. Состав наиболее массовых и часто встречающихся видов в сообществе *Z. marina* в б. Киевка [2]: 1 – *Ruditapes philippinarum*, 2 – *Leucoma euglypta*, 3 – *Macoma incongrua*, 4 – *Modiolus kurilensis*, 5 – *Mizuhopectan yessoensis*, 6 – *Mya arenaria*, 7 – *Littorina squalida*, 8 – *Nucella heyseana*, 9 – *Lottia* sp., 10 – *Ischnochiton hakodadensis*, 11 – *Mopalia retifera*, 12 – *Nereis vexillosa*, 13 – *Lumbrineris inflata*, 14 – *Scoletoma fragilis*, 15 – *Nereis tigrina*, 16 – *Leptasterias similispinis*, 17 – *Strongylocentrotus intermedius*, 18 – *Eupentacta fraudatrix*, 19 – *Phascolosoma* sp., 20 – *Ulva fenestrata*, 21 – *Sargassum pallidum*, 22 – *Punctaria plantaginea*.

Для анализа средообразующей роли *Z. marina*, а также современного состава и структуры формируемого ею сообщества, мы использовали количественные данные оценки макробентоса и среды его обитания в наиболее изученной нами б. Киевка, в которой разнообразие экологических условий, образует многообразие экотопов и высокое биологическое разнообразие донного населения в целом [2]. В бухте отмечены, как тепловодные, так и умеренно-холодноводные и холодноводные элементы флоры и фауны.

В пределах зарослей *Z. marina* в б. Киевка формируется более разнородный по сравнению с прилегающими участками грунт с высоким содержанием органического углерода

(табл.). Обогащение среды органическим веществом в зоне произрастания zostеры, складывающимся преимущественно из продуктов обмена вегетирующих растений, а также разложением отмерших остатков фитомассы, отражают и химические параметры морской воды: концентрации  $P_{орг}$  и БПК<sub>5</sub> здесь выше, чем вне поля zostеры. Как следствие этого, за пределами поля zostеры, даже в близких по параметрам глубины, типа грунта и прибойности экологических условиях, количественные показатели макробентоса гораздо ниже. По мере удаления от поля zostеры, нарастания глубины и упрощения структуры донных отложений отмечено уменьшение видового обилия, биомассы и плотности поселения донных животных (табл. 1).

Таблица 1

Химико-экологические условия и количественные характеристики макробентоса б. Киевка в сообществе *Z. marina* и за его пределами

Локация	Глубина, грунт	Химические параметры			СП	Биологические параметры		
		$S_{орг}$ , %	$P_{орг}$ (мкг/л)	БПК <sub>5</sub> (мгО <sub>2</sub> /л)		Видовое обилие (число видов/м <sup>2</sup> )	Общая средняя биомасса (г/м <sup>2</sup> )	Плотность поселения животных (экз./м <sup>2</sup> )
Поле <i>Z. marina</i>	0,7 м, псефитовый алевропсаммит, ракуша	0,63	195,73	1,25	II	26,7±11,5	3620 ± 1079	1008± 852
Вне поля <i>Z. marina</i>	0,7 м, псефитовый алевропсаммит	0,53	60,52	0,48	II	10,2±2,8	512± 79	281± 74
	2 м, алевропсаммит	0,47	40,25	0,83	II	9,1±3,1	325± 100	213± 56
	3 м, псаммит	0,36	24,3	0,73	III	2,1±0,7	4± 2	80± 16

Примечание:  $S_{орг}$  - концентрация органических веществ в грунте,  $P_{орг}$  – концентрация органических форм фосфора в воде, БПК<sub>5</sub> - биохимическое потребление кислорода в морской воде, СП – степень прибойности: II – хорошо защищенный берег, прибой редко, выражен слабо, III – слабозащищенный берег, прибой частый, но ослабленный ограниченным разгоном волны.

Углеродная ёмкость биоценоза изменяется в широком диапазоне в зависимости от района и сезона: от 41 гС/м<sup>2</sup> в заливе Восток в осенний период до 367 гС/м<sup>2</sup> в бухте Киевка летом. Основной вклад в этот показатель вносит сама zostера, на втором месте - двустворчатые моллюски, полихеты и бурые водоросли. В целом, запас углерода в живой биомассе летом в два раза больше, чем осенью, что отражает сезонную пульсацию секвестрационной способности морских лугов [1, 2, 9].

### Заключение.

Сообщество *Zostera marina* в северо-западной части Японского моря является высокопродуктивной экосистемой с выраженной сезонной динамикой. Максимальные показатели биомассы (до 10 кг/м<sup>2</sup>) и видового богатства (до 108 видов) достигаются в летний период (июль-август), что связано с пиком вегетации морской травы и массовым развитием беспозвоночных.

Сезонная динамика обилия сообщества характеризуется выраженным весенне-летним аспектом, связанным с массовым развитием эпифитных зеленых водорослей (*Ulva* spp., *K. leptoderma* и др.), биомасса которых весной может достигать почти половины от общей биомассы фитоценоза. Резкое снижение обилия эпифитов к августу и их полное исчезновение в октябре обусловлено завершением их жизненных циклов и сезонным изменением гидрохимических показателей, в частности температуры и содержания биогенов [2]. Равенство показателей биомассы растительной части сообщества весной и летом, выявленное в заливах Восток, Находка и бухте Киевка свидетельствует о схожести процессов роста новых побегов и деструкции старых тканей zostеры в первой половине вегетационного периода. Максимальное значение общей биомассы биоценоза в июле за счет увеличения животной компоненты является закономерным и обусловлено пиком биологической продуктивности прибрежных биоценозов в данный сезон в целом. В этот период в прибрежной зоне происходит массовое оседание личинок и активный рост молоди беспозвоночных, прежде всего брюхоногих и двустворчатых моллюсков [6, 8], что существенно повышает суммарные показатели биомассы сообщества. Уменьшение биомассы сообщества осенью связано прежде всего с биологическими особенностями жизненного цикла *Z. marina*. По завершении активного периода вегетации происходит массовое отмирание листьев, которые в это время года составляют основной пул органического детрита [1].

Средообразующая роль zostеры проявляется в аккумуляции органического углерода и создании защищенных биотопов, где плотность населения животных в 7 раз выше, чем на открытых участках морского дна. Существенное увеличение количественных показателей макробентоса (видового богатства, биомассы и плотности поселения) в пределах поля zostеры по сравнению с открытыми участками дна подтверждает роль морских лугов как центров биологического разнообразия [3, 11]. Доминирующая роль *Z. marina* в накоплении углерода определяет её статус как ключевого компонента систем «голубого углерода», способного эффективно изымать диоксид углерода из водной среды и депонировать его в биомассе и подстилающих осадках [13, 14].

## Литература

1. Вышкварцев, Д. И. Картирование доминирующих видов водной растительности и анализ их роли в экосистеме мелководных бухт залива Посъета Японского моря / Д. И. Вышкварцев, В. М. Пешеходько // Подводные гидробиологические исследования. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. – С. 120–130.
2. Галышева, Ю. А. Макробентос бухты Киевка и условия его существования: монография / Ю. А. Галышева, С. И. Коженкова. – Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2023. – 182 с.
3. Гусарова, И. С. Распределение растительности и рыб на мелководье острова Рейнеке (залив Петра Великого) в летний период / И. С. Гусарова, Н. В. Колпаков, В. Н. Кулепанов // Известия ТИНРО. – 2012. – Т. 171. – С. 26–39.
4. Дзизюров, В. Д. Макрофитобентос Приморья / В. Д. Дзизюров, И. С. Гусарова, В. Н. Кулепанов [и др.] // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Японское море. – СПб: Гидрометеоздат, 2004. – Т. 8, Вып. 2. – С. 166–175.
5. Кардакова, Е. А. Морские травы Дальнего Востока / Е. А. Кардакова, И. В. Кизеветтер. – Владивосток: Примор. кн. изд-во, 1953. – 40 с.
6. Надточий, В. В. Зоопланктон бухт Киевка, Соколовская, Мелководная и Каплунова (северо-западная часть Японского моря) / В. В. Надточий, Ю. И. Зуенко // Известия ТИНРО. – 2002. – Т. 131. – С. 288–299.

7. Паймеева, Л. Г. Некоторые черты биологии zostеры в заливе Петра Великого / Л. Г. Паймеева // Исследования по биологии рыб и промысловой океанографии. Владивосток: ТИНРО. – 1974. – Вып. 5. – С. 35–45.
8. Федорец, Ю. В. Экологический мониторинг морской биоты бухты Алексева (залив Петра Великого) / Ю.В. Федорец, О.А. Шарова, А.А. Косьяненко [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 1 (6). – С. 1386–1392.
9. Шулькин, В. М. Углерод в экосистеме *Zostera marina* Linnaeus, 1753 на песчаных грунтах бухты Средняя (залив Петра Великого, Японское море) по данным полевых наблюдений / В. М. Шулькин, В. В. Жариков, А. М. Лебедев, К. Ю. Базаров // Морской биологический журнал. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 98–114.
10. Baranano, C. Population dynamics of a fragmented subtidal *Zostera marina* population affected by shell fishing / C. Baranano, E. Fernández, P. Morán [et al.] // Estuarine, Coastal and Shelf Science. - 2022. - Vol. 269. - P. 107818.
11. Coll, M. Food-web structure of seagrass communities across different spatial scales and human impacts / M. Coll, A. Schmidt, T. Romanuk, H. K. Lotze // PLoS ONE. – 2011. – 6(7): e22591. doi:10.1371/journal.pone.0022591
12. Duarte, C.M. Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows / C.M. Duarte, N. Marba, E. Gacia [et al.] // Global biogeochemical cycles. – 2010. Vol. 24. GB4032. doi:10.1029/2010GB003793.
13. Orth, R. J. Restoration of seagrass habitat leads to rapid recovery of coastal ecosystem services / R. J. Orth, J. S. Lefcheck, K. S. McGlathery [et al.] // Science advances. – 2020. – Vol. 6. – №. 41. – P. eabc6434. doi: 10.1126/sciadv.abc6434.
14. Prentice, C. A synthesis of blue carbon stocks, sources, and accumulation rates in eelgrass (*Zostera marina*) meadows in the Northeast Pacific / C. Prentice, K. L. Poppe, M. Lutz [et al.] // Global Biogeochemical Cycles. – 2020. – Vol. 34. – №. 2. – P. e2019GB006345. doi: 10.1029/2019GB006345
15. Spivak, A. C. Epifaunal community composition and nutrient addition alter sediment organic matter composition in a natural eelgrass *Zostera marina* bed: a field experiment / A.C. Spivak, E.A. Canuel, J.E. Duffy [et al.] // Marine Ecology Progress Series. – 2009. – Vol. 376. – P. 55–67.